

高等学校交通运输与工程类专业规划教材

道路与桥梁检测技术

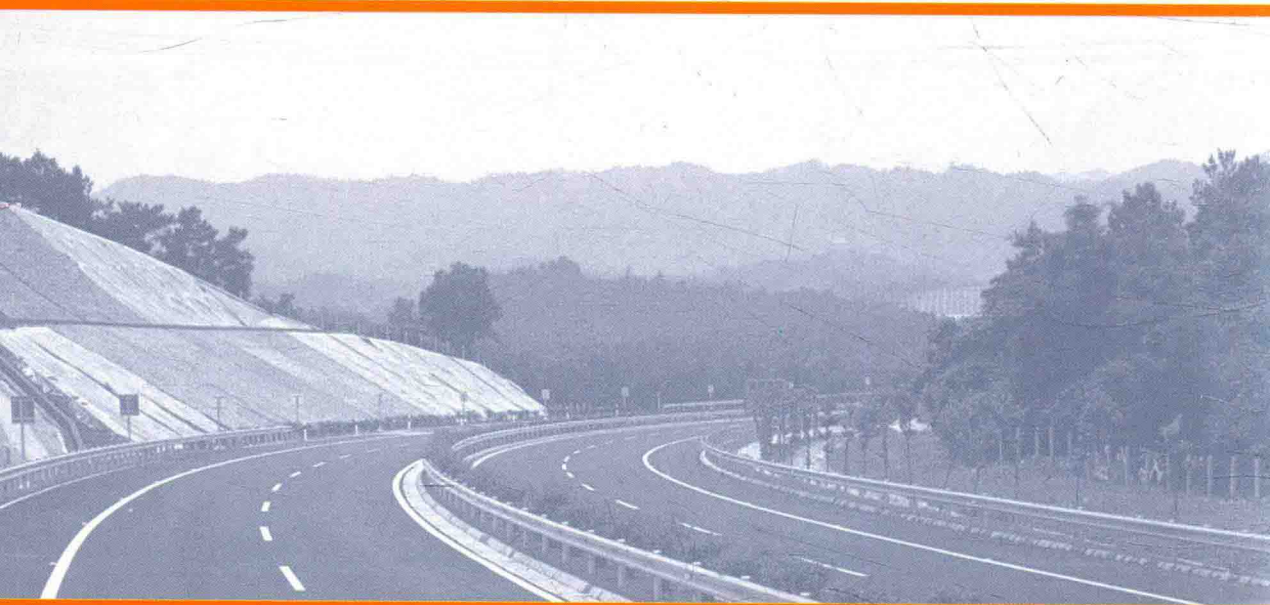
Inspection and Monitoring Techniques of Road and Bridge

(第二版)

胡昌斌 主 编

韩建刚 副主编

王建华 主 审



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

高等学校交通运输与工程类专业规划教材

道路与桥梁检测技术

(第二版)

胡昌斌	主 编
韩建刚	副主编
王建华	主 审



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书共分六章,其主要内容为:总论,振动与波动理论基础,量测仪表与技术,路基路面工程现场检测技术,桥梁上部结构检测技术,地基基础工程现场检测技术等。

本书可作为高等学校土木工程领域中公路工程、城市道路工程、桥梁隧道工程、机场工程等专业的教材,也可供从事公路与城市道路、桥梁工程及交通运输部门有关人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

道路与桥梁检测技术/胡昌斌主编. —2版. —北京:人民交通出版社股份有限公司,2015.6
ISBN 978-7-114-12164-7

I. ①道… II. ①胡… III. ①道路工程—工程质量—质量检验②桥梁工程—工程质量—质量检验 IV.
①U415.12②U445.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 068912 号

高等学校交通运输与工程类专业规划教材

书 名:道路与桥梁检测技术(第二版)

著 作 者:胡昌斌 韩建刚

责任编辑:郑蕉林 李 瑞

出版发行:人民交通出版社股份有限公司

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpress.com.cn>

销售电话:(010) 59757973

总 经 销:人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市密东印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:19.75

字 数:450千

版 次:2007年3月 第1版

2015年6月 第2版

印 次:2015年6月 第2版 第1次印刷 总第6次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-12164-7

定 价:40.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

高等学校交通运输与工程(道路、桥梁、隧道 与交通工程)教材建设委员会

主任委员:沙爱民 (长安大学)

副主任委员:梁乃兴 (重庆交通大学)

陈艾荣 (同济大学)

徐岳 (长安大学)

黄晓明 (东南大学)

韩敏 (人民交通出版社股份有限公司)

委员:(按姓氏笔画排序)

马松林 (哈尔滨工业大学)

王云鹏 (北京航空航天大学)

石京 (清华大学)

申爱琴 (长安大学)

朱合华 (同济大学)

任伟新 (合肥工业大学)

向中富 (重庆交通大学)

刘扬 (长沙理工大学)

刘朝晖 (长沙理工大学)

刘寒冰 (吉林大学)

关宏志 (北京工业大学)

李亚东 (西南交通大学)

杨晓光 (同济大学)

吴卫国 (武汉理工大学)

吴瑞麟 (华中科技大学)

何民 (昆明理工大学)

何东坡 (东北林业大学)

张顶立 (北京交通大学)

张金喜 (北京工业大学)

陈红 (长安大学)

陈峻 (东南大学)

陈宝春 (福州大学)

陈静云 (大连理工大学)

邵旭东 (湖南大学)

项贻强 (浙江大学)

郭忠印 (同济大学)

黄侨 (东南大学)

黄立葵 (湖南大学)

黄亚新 (解放军理工大学)

符铎砂 (华南理工大学)

葛耀君 (同济大学)

裴玉龙 (东北林业大学)

戴公连 (中南大学)

秘书长:孙玺 (人民交通出版社股份有限公司)

第二版前言

“道路与桥梁检测技术”是高等学校土木工程领域中公路工程、城市道路工程、桥梁隧道工程、机场工程等专业的专业重要课,课程涉及内容广泛并与工程实践联系密切。

本书以我国有关现行工程技术标准、规范为依据,叙述道路与桥梁检测技术中的关键技术及原理,力求理论联系实际。

与道路桥梁检测技术相关的学科有很多,如机电工程、振动波动理论、自动控制、电子量测技术等。从高等学校本科教育的培养目标出发,本书重点阐述相关学科的基本概念、基本理论。由于第二章理论较深,建议授课时,根据课时安排选择讲授。

本课程是一门理论与实践并重、工程性较强的课程,讲授本课程除了系统的课堂教学之外,应配合组织现场实习、实际操作等辅助教学环节,以提高学生的感性认识和动手能力。

本书第一版是根据面向 21 世纪交通版高等学校教材(公路类)编审委员会 2001 年审定的教学大纲而编写的。本次修订主要针对以下四个方面来进行的:一、对涉及的相关规范及参考文献做了更新,增强时效性;二是针对读者反馈意见,对本书错误做了改正;三为增强教学效果,对较为冗杂的内容进行了调整或删改,对一些需要详述的部分增加相关图文;四为便于学生自主学习,对课后习题做了补

充和一些课外阅读的延伸。全书共分六章:本书第一、二、四、六章由福州大学胡昌斌编写;第三、五章由海南大学韩建刚编写。全书由福州大学胡昌斌主编并担任全书统稿工作,由长安大学王建华主审。

本教材涉及面广、内容较新、实践性强。但由于作者的知识面和水平所限,书中难免有未尽善之处,希望有关院校师生及读者提出宝贵意见,以便及时修改完善。

胡昌斌

2014 年 11 月于福州大学

第一版前言

《道路与桥梁检测技术》是高等学校土木工程领域中公路工程、城市道路工程、桥梁隧道工程、机场工程等专业的专业重要专业课。课程涉及内容广泛并与工程实践联系密切。

本书以我国有关现行工程技术标准、规范为依据,叙述道路与桥梁检测技术中的关键技术及原理,力求理论联系实际。

与道路桥梁检测技术相关的科学有很多,如机电工程、振动波动理论、自动控制、电子量测技术等。从高等学校本科教育的培养目标出发,本书重点阐述相关科学的基本概念、基本理论,由于第二章理论较深,建议授课时,根据课时安排选择讲授。

本课程是一门理论与实践并重、工程性较强的课程,讲授本课程除了系统的课堂教学之外,应配合组织现场实习、实际操作等辅助教学环节,以提高学生的感性认识和动手能力。

本书是根据面向 21 世纪交通版高等学校教材(公路类)编审委员会 2001 年审定的教学大纲而编写的:全书共分六章:本书第一、二、四章由福州大学胡昌斌编写;第三、六章由韩建刚编写。全书由福州大学胡昌斌主编并担任全书统稿工作,由长安大学王建华主审。

这本新教材涉及面广、内容较新、实践性强。但由于作者的知识面和水平所

限,书中难免有未尽善之处,希望有关院校师生及读者提出宝贵意见,以便及时修改完善。

胡昌斌

2006 年 12 月于福州大学

目录

CONTENTS

第一章 总论	1
第一节 概述	1
第二节 道路与桥梁检测的技术分类	3
第三节 本门课程的学习内容与特点	9
思考题	9
第二章 振动与波动理论基础	10
第一节 振动的分类	11
第二节 简谐振动(谐和振动)及其描述	12
第三节 单自由度系统振动分析	14
第四节 周期振动的谐波分析	19
第五节 振动量的峰值、有效值和平均值	21
第六节 冲击与瞬态振动的频谱分析	23
第七节 随机振动信号的描述	24
第八节 系统对谐波激励的响应及频率响应函数	27
第九节 系统对脉冲激励的响应与脉冲响应函数	29
第十节 信号的时域分析和频域分析	31
第十一节 弹性固体介质中的机械波	32
第十二节 波在弹性固体介质中的传播速度	35
第十三节 声场	36
第十四节 声波在两种介质界面上的传播规律	37
思考题	42

第三章 量测仪表与技术 44

第一节 概论 44

第二节 静态测试仪器 46

第三节 动态测试仪器 77

思考题 97

第四章 路基路面工程现场检测技术 98

第一节 路面使用性能检测 98

第二节 路面平整度检测..... 101

第三节 路面破损状况现场检测..... 107

第四节 沥青路面车辙测试方法..... 113

第五节 路面结构强度检测..... 117

第六节 路面抗滑性能试验检测方法..... 133

第七节 路基路面几何尺寸与路面厚度检测..... 143

第八节 路面压实度的测试和评价方法..... 150

第九节 路面强度和模量的测试试验方法..... 158

思考题..... 164

第五章 桥梁上部结构检测技术..... 166

第一节 桥梁工程试验概论..... 166

第二节 桥梁结构静载试验..... 169

第三节 桥梁结构动载试验..... 183

第四节 成桥检测实例..... 190

第五节 旧桥检测与评估..... 198

第六节 桥梁的健康监测..... 210

思考题..... 220

第六章 地基基础工程现场检测技术..... 221

第一节 地基承载力检测..... 221

第二节 桥梁桩基质量检测技术..... 231

第三节 灌注桩成孔质量检测..... 234

第四节 桩基完整性检测..... 238

第五节 桩的静载试验..... 259

第六节 高应变动测法..... 265

第七节 高速公路软土地基与路堤施工现场监测技术..... 273

思考题..... 294

参考文献..... 296

第一章

总 论

【学习目的与要求】

通过了解我国公路的建设概况,认识到道路与桥梁检测技术已成为公路工程建设、养护、设计、科研等方面的重要手段。本章要求掌握道路与桥梁检测的技术分类,了解道路桥梁检测课程的学习内容及特点。

第一节 概 述

随着国民经济的飞速发展,我国公路建设取得了令人瞩目的巨大成就。普通公路和高速公路的发展,极大地提高了中国公路网的整体技术水平,优化了交通运输结构,有力地促进了我国经济发展和社会进步。

根据我国最新国家公路网规划,到2030年,公路总里程将达580万公里,届时将形成布局合理、功能完善、覆盖广泛、安全可靠的国家干线公路网络。可见,今后的十几年里,我国将面临公路建设和公路养护管理的双重任务,如何保证公路建设质量和进行科学合理的养护管理,都是摆在公路建设者和管理者面前的重要任务。

实践证明,建立有效的质量监督和管理保障体系是实现这两个任务的关键所在,而道路与桥梁工程的试验检测工作则是实现这一目标的重要手段。其意义主要有以下几点:

1. 通过对旧路的检测工作,可以为养护及改建提供准确依据

公路基本建设一般会经历三个阶段:新建阶段、新建与养护并重阶段、养护与改建阶段。从我国公路发展及路网分布的状况分析来看,我国部分省份地区已进入新建与养护并重阶段,对于较发达的地区,则已进入以养护、改建为重点的阶段。随着交通量的进一步增长和交通轴载的增加,各地大量的道路和桥梁都需要进行养护维修和改建加固。而旧道路与桥梁工程检测得到的数据,则是确定合理养护改建方案,进行科学养护管理的重要依据。

在对旧路或旧桥进行维修、加固和改建之前,对需要维修、加固或改建的旧路或旧桥进行深入细致地调查与检测,研究分析检测资料和数据,确定病害的性质、范围、程度以及成因,评价公路及桥梁工程的质量,可以为制订养护对策、确定养护改建与加固设计方案,提供科学客观的依据。这对于制订出科学客观、安全经济的养护措施,是十分重要的。

2. 通过对新建公路的检测工作,可以保证工程质量

对新建公路、道路与桥梁工程进行检测是确定工程设计参数、控制施工质量、工程验收评定的重要依据。新建公路施工前、施工中进行的检测工作,可以积累必要的原始技术资料;施工结束后的竣工检测,可以评估建设质量,这些都是保证新建公路工程质量的必要手段。在高等级公路建设中,桥梁工程不仅规模巨大,而且技术难度相对较高。为确保桥梁承载能力和质量,在大中型桥梁竣工后,均应进行鉴定检测。通过对测试结果的综合分析,掌握桥梁的技术状况,确定桥梁的使用条件,可以有效地保证桥梁结构物使用的安全性与耐久性。此外,对新型结构桥梁进行鉴定性监测工作,通过了解荷载作用下桥梁实际受力状态,探索具有普遍意义的规律,可为充实和发展桥梁结构计算理论积累丰富的经验和宝贵资料。

3. 通过检测工作,为路网养护管理系统的形成提供数据基础

公路养护资金庞大,如何科学合理、经济地安排养护资金,是公路养护管理者需要面对的重要课题。随着道路桥梁检测技术、计算机及互联网技术的发展,一些发达国家陆续建立了区域内乃至全国的路网养护及管理系统,通过管理系统软件,应用系统分析的方法,使公路的管理和养护系统化、整体化,以最经济的投资使路网达到最高的服务水平。

近 20 年来,我国的科研单位也进行了一系列公路养护及管理系统的开发与研究,并取得很大进展。公路养护管理系统的科学决策和分析必须建立在大量信息的基础上,以数据作为支承。这样,才能使系统提出的对策具有客观性和针对性。因而,整个管理系统须包含一个数据管理子系统,它应由两部分组成,即路况监测(数据采集)系统和数据库。路况监测系统主要是定期采集道路与桥梁性能检测数据,如施工过程中的检测、竣工验收检测、通车后的定期检测等数据。这些检测资料都需要通过长时间内的定期检测来获得,通过对其进行回归分析、归纳整理,计算机模型处理,就可以得到科学的管理方法,提出养护时间与养护方案的合理建议。

另外,科研单位进行科学技术研究,施工单位进行施工质量监控、工程质量事故的调查分析等,均需要通过道路与桥梁检测工作来提供技术参数。

可以看到,随着科技的发展,道路与桥梁工程检测工作已日益成为公路工程建设、养护、设计、科研等方面的重要手段和组成环节。掌握道路与桥梁检测技术,充分发挥检测技术在公路工程质量管理 and 公路养护工作中的作用,已成为一项重要工作。

第二节 道路与桥梁检测的技术分类

道路与桥梁检测技术是一门正在发展的新兴学科,融合试验检测基本理论、测试操作技能及公路桥梁工程相关学科基础知识于一体。随着时代发展,机电工程、光电工程、工程动力学、自动控制与量测技术等现代科技,都强有力地促进和推动着道路与桥梁检测技术的发展。

根据检测对象,道路与桥梁检测大体可以分为路基路面工程检测、桥梁结构工程检测和地基基础工程检测三大类。依据所依托的技术手段,道路与桥梁检测技术又可大体分为机械类检测技术、机电类检测技术、振动类检测技术、雷达类(电磁波)检测技术、超声波类检测技术、射线类检测技术、激光类检测技术、红外类检测技术、摄像类检测技术和集成类检测技术等几大类。

1. 机械类检测技术

此类技术是通过机械或人工操作而获得道路桥梁的技术参数和计量信息的一种技术手段,一般具有结构简单、制作容易、使用寿命长、故障率低以及价格便宜实用等优点,但由于机械类检测技术本身固有的特性,往往存在测量精度低、操作劳动强度大、效率低等缺点。3m直尺、摆式摩擦仪(图1-1)、路基回弹模量测定仪、基于贝克曼梁的路面回弹弯沉仪(图1-2)、画线式路面车辙测定仪等都属于典型的机械类检测仪器。

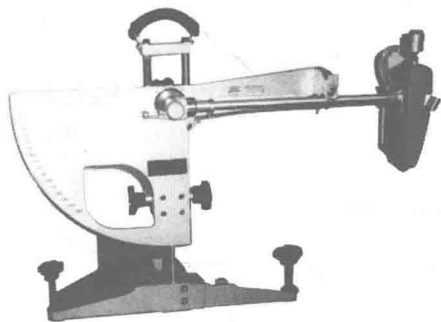


图 1-1 摆式摩擦仪

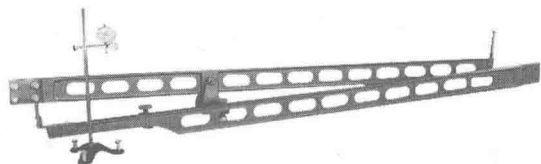


图 1-2 贝克曼梁及百分表

2. 机电类检测技术

机电检测技术是通过机械、人工和电子测试采集相结合而获得道路桥梁的技术参数和计量信息的一种技术手段。机电检测仪器通过机电转换,具有仪器牢靠、使用寿命长、价格合理、使用方便等优点。近十几年来,随着数字计算机工业的发展,机电类检测技术有了重大发展,测定应力、应变、位移等力学和位移参量的电子类、光纤类传感器和数字化仪表(图1-3~图1-5)得到了广泛应用,大大提高了检测工作的精度和效率。

路面检测中的连续式路面平整度测定仪检测(图1-6)以及路面自动弯沉测试仪检测都是典型的机电类检测技术。

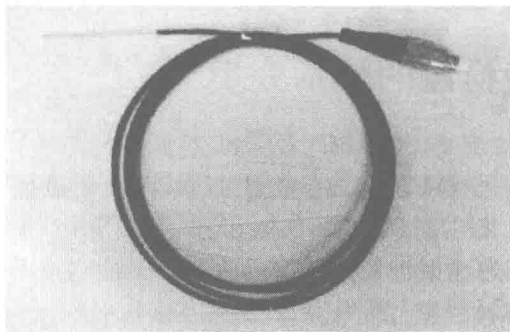


图 1-3 GSYD 光纤结构测试仪器

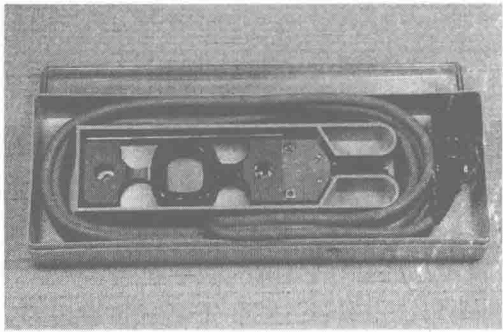


图 1-4 CYB-YB-FIK 电阻应变式应变计

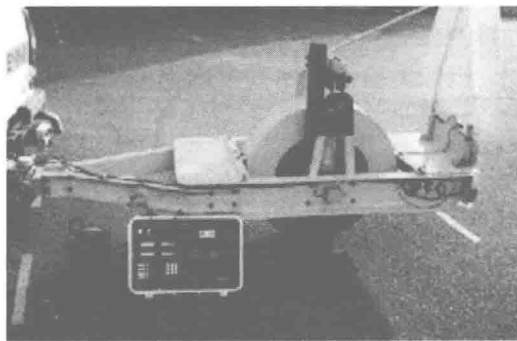


图 1-5 颠簸累计仪



图 1-6 STPZ-3 型连续式八轮路面平整度仪

3. 振动类检测技术

振动类检测技术是指利用机械振动以及由于机械振动引起的波(应力波)在结构中的振动特性,及在土木工程介质中的传播特性获得道路桥梁的技术参数和计量信息的一种技术手段。基于振动和冲击原理的振动类检测技术,已成为近年来道路桥梁动态无损检测的一个热点。目前,桥梁动力检测(图 1-7)、桩基反射波动力检测(图 1-8)、SAWA 表面波检测(图 1-9)、FWD 落锤式弯沉检测(图 1-10)等技术都属于此类的典型检测技术。



图 1-7 手持式落锤弯沉仪



图 1-8 桩基完整性低应变反射波动力检测



图 1-9 SAWA 表面波检测技术



图 1-10 EP-73011 型落锤式弯沉仪

4. 雷达(电磁波)类检测技术

雷达无损检测是一种高新技术检测,其实质是超高频电磁波发射与接收技术。雷达技术用于路基路面物理力学指标的无损检测开始于 20 世纪 80 年代后期,欧、美最早应用,到我国应用的时间大约在 90 年代初。雷达波由自身激振产生,直接向路基路面发射射频电磁波,通过波的反射与接收获得路基路面的采样信号,再经过硬件、软件及图文显示系统,得到检测结果。雷达所用的采样频率一般为数兆赫(MHz)左右,而发射与接收的射频频率有的要达到吉赫(GHz)以上。雷达波虽然频率很高,波长很短,但该种电磁波同样遵守波的传播规律,即同样具有入射、反射、折射与衰变等传播特点。技术人员正是利用这些特点,使之为工程质量监控服务,达到无损、快速、高精度的检测要求。

目前,采用雷达进行公路路基路面的检测包括了多个技术领域,主要有雷达测厚、测湿、测异常物、测密实度与弹性模量等。由于这些物理量与几何量的测量都依赖于同一雷达检测仪,因此可以达到一机多能。而且由于雷达检测技术具有无损、快速、简易、精度高的突出优点,在高等级公路施工质量监控以及养护等方面具有广阔的应用前景。如图 1-11 与图 1-12 所示为雷达在公路检测中的典型应用。



图 1-11 高速公路探地雷达测试

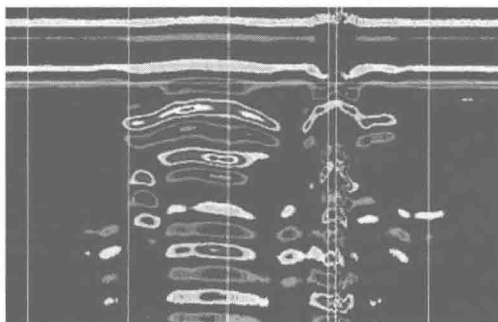


图 1-12 公路下的脱空检测剖面

5. 超声波类检测技术

超声波检测技术是一种利用超声波的传播特性进行道路桥梁检测的无损检测新技术。超声波是一种频率高于人耳所能听到的频率的声波。人耳能听到的声波频率范围为 20Hz ~ 20kHz,而超声波的频率超过了 20kHz。由于超声波是属于波的一种,因此,它在传输过程中同样服从于波的传输规律。利用这些特点,也可以使之为工程质量监控服务,达到无损、快速的

检测要求。

超声波检测技术早在 20 世纪 70 年代就得到了较快发展。我国应用超声波检测开始于建筑工程与岩土工程,在土工试块与某些岩体中利用波速法(实践证明,波速对水泥路基路面检测十分有用,因此一般也称超声波检测法为波速法)进行无损检测有比较成熟的经验,应用也比较广泛。超声波的两个探头(发射与接收)容易安置,用穿透式的测定方法,其能量发射与接收都比较集中,规律性明显,只要测出相关声学参数,用波在介质中传播的基本公式就能算得所求指标(如强度、缺损等)。公路工程中,超声波检测技术已广泛地应用于桩基成孔测量、桩基完整性质量检测、混凝土质量检测等领域(图 1-13 与图 1-14)。

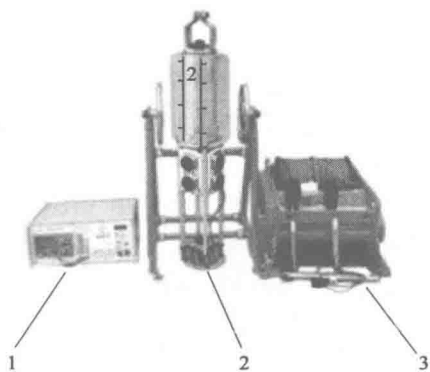


图 1-13 CDJ-1 型超声波大口径桩孔检测仪

1-超声仪;2-探头;3-卷扬机

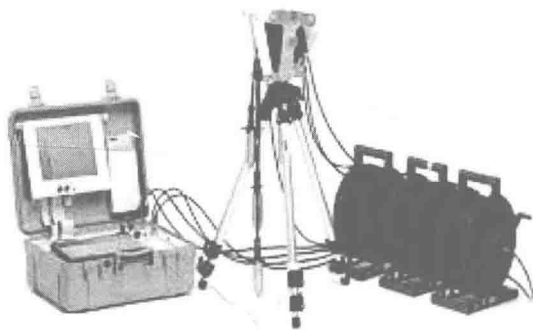


图 1-14 CSL-1 桩基超声波跨孔测试仪

6. 射线类检测技术

射线是同位素或核子散发的一种无形能束。同位素中的某些元素所散发的能束,与土壤的密度及水分有着十分密切的关系,而且具有十分明显的规律性。射线检测技术就是利用了某些同位素的这种特性来进行工程检测的技术。射线检测技术具有快速、无损(或有损)、测法简单的独特优点,因而,国内外许多专家较早地设计了核子检测仪器,用于土密实度与土含水率的测定。国外从 20 世纪 50 年代末到 60 年代初开始采用核子方法测量土密实度,美国、日本、前苏联、英国、法国与前联邦德国等国家相继开发了仪器,并在土木工程中广泛应用。目前,这种技术在我国公路工程中也已得到了较好的应用(图 1-15)。

射线属于放射性物质,对人体的健康会产生危害,甚至是严重危害。因此,在利用射线原理检测路基路面的物理指标时,其检测装置或设计的检测仪器,对射线源一定要进行有效的防护,使射线在工作过程中,对人体的危害控制在最低的限度。这是核子仪在设计时所必须考虑的关键问题。

7. 激光类检测技术

激光是 20 世纪 60 年代发展起来的一门尖端科学。由于激光具有高亮度、高方向性、很好的相干性与衍射性、高光强、高测微精度、高时间分辨和全息反映能力等独特的技术特点,因此,激光在国防建设、工农业生产及科学试验等方面均有着广泛的用途。几十年来,国内外研制开发了一大批具有现代水平的可用于道路桥梁检测的激光类测量仪器与技术。道路桥梁检测中常见的激光应用仪器有激光测距仪、激光挠度仪(图 1-16)、激光纹理测试仪(图 1-17)、多